

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学 号: 200430026

UDC_____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

基于原电池放电特性的自适应的

无线传感器网络 MAC 协议设计与实现

Design and Implementation of an Adaptive MAC Based on
Battery Discharge Characteristic in Wireless Sensor Network

金 晓 坤

指导教师姓名: 陈 辉 煌 教 授

石 江 宏 博 士

专 业 名 称: 通 信 与 信 息 系 统

论文提交日期: 2007 年 4 月

论文答辩时间: 2007 年 5 月

学位授予日期: 2007 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2007 年 月

厦门大学博硕士论文摘要库

厦门大学学位论文原创性声明

兹呈交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

1. 保密（ ），在 年解密后适用本授权书。

2. 不保密（ ）

（请在以上相应括号内打“√”）

作者签名： 日期： 年 月 日

导师签名： 日期： 年 月 日

摘 要

无线传感器网络作为分布式计算、嵌入式系统、MEMS 等技术的综合体，其设计中的关键问题与传统网络大相径庭，因此产生了很多设计原则。无线传感器网络各层协议的标准目前还未制定，网络的应用要求、能耗要求、通信要求、互连要求等问题是协议研究的重点和难点。本论文围绕基于原电池放电特性的无线传感器网络 MAC 协议展开。

首先对无线传感器网络的特点和研究现状进行讨论，归纳出 MAC 协议设计的需求与准则，并对具有代表意义的无线传感器网络 MAC 进行分析和比较，讨论采用不同方式访问无线信道的 MAC 协议的优缺点。其次，研究了原电池的电化学基本原理和锌锰电池特殊的间歇放电特性，以此作为基于原电池特性 MAC 协议的研究切入点。将原电池间歇放电制度下延长电池寿命的特性融入到 MAC 协议设计中，结合 CSMA 竞争机制协议简单、鲁棒性好的优点，和 TDMA 固定分配机制免冲突、无偷听的优点，提出一种基于原电池放电特性的 MAC 层协议 BA-MAC。该协议很好地继承了基于数据聚集树的 D-MAC 协议交错调度机制，并根据对电池放电特性的分析与研究，在 BA-MAC 协议中提出了基于电池能量特性的低占空比机制、自适应帧长机制和非对称的同步算法，使得 BA-MAC 协议较之 D-MAC 协议有更好的适应性。最后，在无线传感器网络实验系统平台上对 BA-MAC 协议进行了验证，实验结果表明系统在实现 BA-MAC 基本功能的基础上，也证明了该协议的吞吐量、延时、公平性等性能，满足实际应用的需要。

关键词：无线传感器网络；MAC 协议；原电池间歇放电特性

厦门大学博硕士论文摘要库

ABSTRACT

Wireless sensor network is a novel technology for acquiring and processing information, which is made by the convergence of wireless communication, distributed computation, embedded system and micro-electro-mechanism technologies. As the key parts of the WSN design are distinguished from the traditional wireless network, lots of designing principles came forth. Wireless sensor network protocols of various levels have not been standardized. Most research of WSN protocol is focused on WSN application, energy consumption, traffic affording, and network connectedness and so on.

The dissertation mainly researches on the wireless sensor network MAC protocol based on the characteristic of primary battery discharging. Firstly we present an analysis for recent studies on WSN and then give a classification of the challenges and guide lines for MAC protocol design. Current MAC design for wireless sensor network can be classified into three categories: contention-based protocols, fixed protocols and hybrid protocols. Among the MAC protocols, every one is to allocate the shared wireless channels among sensor nodes as fairly as possible with energy consumption saving. But every protocol has drawbacks at the same time.

Secondly, the study in primary battery helps us better understand the electrochemistry principium. Alkaline zinc-manganese battery exhibits a specific quality and attributes on pulsed discharge. A pulsed discharge allows charge recovery during the idle periods. We derive the improvement to battery lifetime that results from pulsed current discharge which can be introduced to the MAC protocol design.

Based on the simplicity and robustness of CSMA and the collision-free advantage of TDMA, the dissertation proposes BA-MAC, a novel hybrid MAC protocol of TDMA and CSMA, which is particularly based on the characteristic of battery discharge. BA-MAC succeeds to the staggered wakeup schedule from D-MAC, an adaptive energy-efficient and low-latency MAC for data gathering. According to the analysis and investigation of battery discharging, BA-MAC utilizes this data gathering tree structure to achieve both energy efficiency and low packet delivery latency. BA-MAC staggers the active/sleep schedule of nodes in the data gathering tree in term of the battery discharging behavior. This allows most nodes in the wireless sensor network owing the sum of active period approaching the lifetime of battery

maintenance. Unsymmetrical time synchronization is employed to solve the problem when parent nodes and children nodes communicate with each other but they may not awake at the same time, that causing idle listening or packet error. Self-reacting adjustment on the super frame and active period is proposed to command nodes on the multihop path to remain active longer when the traffic is heavy.

We have implemented BA-MAC on a hardware platform of wireless sensor network, which is developed by our group. Our experiment results have shown that BA-MAC can be applied in wireless sensor network. In addition, it has proved BA-MAC has good performance on throughput, latency and fairness which could satisfy practical requirements.

Keywords: Wireless Sensor Network; MAC Protocol; Primary Battery Pulsed Discharge

目 录

第 1 章	绪 论	1
1.1	研究背景	1
1.2	国内外研究现状	3
1.3	论文的研究意义	4
1.4	论文主要工作和结构安排	4
第 2 章	无线传感器网络 MAC 协议分析	6
2.1	无线传感器网络的体系结构	6
2.1.1	无线传感器网络单节点结构	7
2.1.2	无线传感器网络通信协议栈	8
2.2	无线传感器网络 MAC 协议的特点	12
2.2.1	无线传感器网络的特点	12
2.2.2	MAC 协议的设计目标	13
2.3	常见 MAC 协议分类分析	16
2.3.1	基于竞争类协议	16
2.3.2	基于固定分配类协议	21
2.3.3	IEEE 802.15.4	24
2.4	本章小结	25
第 3 章	原电池放电特性分析	27
3.1	电池的基本原理	27
3.1.1	电池的组成	27
3.1.2	电池的分类	27
3.1.3	电池的工作原理	28
3.2	锌锰原电池的放电特性	29
3.2.1	扩散原理	30
3.2.2	间歇放电特性	32
3.2.3	不同放电制度下的放电性能比较	32
3.3	本章小结	35

第 4 章	基于原电池放电特性的 BA-MAC 协议设计	36
4.1	D-MAC 协议	36
4.1.1	D-MAC 协议分析	36
4.1.2	D-MAC 协议小结	40
4.2	改进的协议 BA-MAC	41
4.2.1	网络结构及其应用场景假设	42
4.2.2	基本协议流程	42
4.2.3	BA-MAC 中基于原电池放电特性的占空比机制	47
4.2.4	BA-MAC 的自适应帧长机制	49
4.2.5	BA-MAC 的同步机制	50
4.3	本章小结	55
第 5 章	无线传感器网络实验系统及 BA-MAC 协议的实现	56
5.1	系统硬件设计	56
5.1.1	概要设计	57
5.1.2	详细设计	57
5.1.3	小结	60
5.2	系统软件设计	62
5.2.1	概要设计	62
5.2.2	详细设计	62
5.3	系统调试结果	67
5.3.1	实物演示	67
5.3.2	验证 BA-MAC 协议运行结果演示	68
5.4	本章小结	72
第 6 章	总结与展望	73
6.1	本论文的总结	73
6.2	论文创新之处	74
6.3	后续工作展望	74
参考文献		76

致 谢	79
攻读硕士学位期间发表的论文及所做工作	81

厦门大学博硕士论文摘要库

厦门大学博硕士论文摘要库

CONTENTS

Chapter 1	Preface.....	1
1.1	Research Background.....	1
1.2	Research Status in the World.....	3
1.3	Research Purpose.....	4
1.4	Paper structure and Contents.....	4
Chapter 2	Analysis of Wireless Sensor Network MAC Protocol	6
2.1	Wireless Sensor Network Architecture	6
2.1.1	Sensor Node System.....	7
2.1.2	Wireless Sensor Communication Stack.....	8
2.2	Features of Wireless Sensor Network MAC Protocol.....	12
2.2.1	Features of Wireless Sensor Network.....	12
2.2.2	Design Demand of Wireless Sensor Network MAC Protocol.....	13
2.3	Performance Analysis for WSN MAC Protocols.....	16
2.3.1	Protocols Based on Contention	16
2.3.2	Protocols Based on TDMA	21
2.3.3	IEEE 802.15.4	24
2.4	Section Conclusion	25
Chapter 3	Analysis of Primary Battery Discharge	27
3.1	Battery Principle	27
3.1.1	Contents of Battery.....	27
3.1.2	Classification of Battery	27
3.1.3	Work Principle of Battery.....	28
3.2	Alkaline Zinc-manganese Battery Discharge Characteristics	29
3.2.1	Extension Principle.....	30
3.2.2	Pulsed Discharge	32
3.2.3	Discharging Performance under Different Situations	32
3.3	Section Conclusion	35
Chapter 4	An Adaptive MAC Based on Battery Discharging	

Characteristic.....	36
4.1 D-MAC Protocol	36
4.1.1 Analysis of D-MAC	36
4.1.2 Summary of D-MAC.....	40
4.2 BA-MAC--An Adaptive MAC Based on Battery Discharging	
Characteristic	41
4.2.1 Topology and Application Assumption	42
4.2.2 Basic Flow of BA-MAC.....	42
4.2.3 Adaptive Low Duty Cycle Based on Battery Discharge in BA-MAC.....	47
4.2.4 Adaptive Frame in BA-MAC	49
4.2.5 Synchronizaton in BA-MAC.....	50
4.3 Section Conclusion.....	55
Chapter 5 Design and Implementation of Wireless Sensor Network and BA-MAC.....	56
5.1 Design of Hardware	56
5.1.1 General	57
5.1.2 Details.....	57
5.1.3 Brief Summary	60
5.2 Design of Software	62
5.2.1 General	62
5.2.2 Details.....	62
5.3 System Debug	67
5.3.1 Entity	67
5.3.2 Demonstration of BA-MAC	68
5.4 Section Conclusion.....	72
Chapter 6 Summary	73
6.1 Summary of this Dissertation	73
6.2 Dissertation Contribution	74
6.3 Future Work	74
Reference	76

第 1 章 绪 论

1.1 研究背景

无线传感器网络（Wireless Sensor Network, WSN）技术是一种新兴的、综合性的研究领域，集微电子机械系统（Micro-Electro-Mechanism System, MEMS）、嵌入式系统、分布式计算和无线通信技术等多项技术。从老式的大型机到新型的便携式电脑或掌上电脑，一般的信息都是在普通计算设备上实现的。在这类应用中，计算设备通常用来处理信息，其核心是系统的用户，而与物理环境至多是间接相关。随着社会的不断发展，工业技术的不断进步，人们物质生活水平的不断提高，人与环境的关系也就越来越密切，传统的单一传感器已经不能满足人们对信息获取的要求。人们所希望的是能够监测一定区域内的各种环境变量和被监测对象的详尽信息，实现对物理过程的控制以及与用户的交互，即实现“环境智能化”。应用孕育了技术，技术为应用而生。正是这种需要，推动无线传感器网络的出现。随着微电子机械系统、嵌入式系统和无线通信技术的快速发展，使传感器本身的处理能力更强、体积更微型化；无线传感器网络分布更广，系统组织具有易扩展性、易部署和可靠性高的特点；同时传感器、无线收发器等主要器件功耗成本显著降低，使得无线传感器网络在军事防御、工业生产、家居智能化等领域有着广阔的应用前景，成为当前的研究热点。

无线传感器网络是由多个单节点组成，通过自组织方式构成无线网络，各节点通过传感或控制参数实现与环境的交互；节点必须通过相互关联才能完成协作地感知、采集和处理网络覆盖范围内感知对象的信息，单个节点通常无法发挥作用。

由于具有易扩展、自组织、分布式结构、健壮性和实时性等特点，无线传感器网络在军事、环保、医疗和空间探索等领域具有巨大的应用潜力。美国商业周

刊和 MIT（美国麻省理工学院）技术评论在预测未来技术发展的报告中，将无线传感器网络列为“21 世纪最有影响的 21 项技术”和“改变世界的 10 大技术之一”。^[1]无线传感器网络在以下场合具有广泛应用：

1. **军事侦察。**美国国防部国防高级研究计划局（DARPA）和美国空军（USAF）正在合作开发的网络嵌入式系统技术（NEST）是 WSN 在军事方面的最新应用。利用广泛散布于特定区域、检查站、建筑物和护卫车队等地的 WSN 节点，作战人员能够对狙击手和其他隐蔽的射手进行定位。这些节点跟踪子弹产生的冲击波，在节点范围内测定子弹发射时产生声震和枪震的时间，以判断子弹的发射源。^[2]

2. **灾难预警与救助。**无线传感器网络经常应用于灾难预警与救助。一个典型的例子就是监测意外火灾，为传感器节点配备温度计，而各个节点能够自动定位（绝对地址或相对地址）。利用传感器，消防员或者救生员配备的个人数字助理（PDA）可以与监测环境内的 WSN 进行通信，生成监测区域内的“温度地图”或者确定高温区域的范围。^[3]美国在“911”事件后大力发展此项应用。

3. **环境监测和生物多样化监测。**利用无线传感器网络可以实现对环境的控制。例如海洋监测，了解大陆架海域侵蚀状况对建设近海风力发电农场很重要；还可以利用无线传感器网络研究生活在某一区域的温度、湿度、土壤酸度等，以此为该区域动植物生活环境提供详细的参数。基于传感器网络的 ALERT 系统中就有数种传感器用来监测降雨量、河水水位和土壤水分，并依此预测爆发山洪的可能性。美国加州大学伯克利分校 Intel 实验室和大西洋学院联合在大鸭岛（Great Duck Island）上部署了一个多层次的传感器网络系统，用来监测岛上海燕的生活习性。

4. **智能楼宇。**由于湿度、通风和空气调节（HVAC）设备的效率极低，楼宇浪费了大量的能源。借助无线传感器网络，对一栋大厦的温度、空气流通、湿度以及其他物理参数进行实时的高分辨率监控可以显著地提高居住者的舒适程度，并减少能源消耗。据预测，仅美国就能够节约 2×10^{24} 个单位的热量。^[4]

5. **数字化农业。**无线传感器网络还可以应用于农业，即将节点上装有温度、湿度、CO₂ 传感器，放置在农田中计算出精确的灌溉量和施肥量；类似地还可以对病虫害高发期进行监测，当环境因素逐渐成熟会导致病虫害爆发时，WSN 会

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库